

Un estudio sobre ideas variacionales a través de la resolución de problemas. El caso de la intensidad sonora¹

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Consuelo Escudero^{1,2}, Eduardo Adrian Jaime¹, Sonia Beatriz González³

¹Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. UNSJ. Avda. Libertador 1109 (O). CP 5400, San Juan, Argentina.

²Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. UNSJ. Avda. Ignacio de la Roza y Meglioli. Rivadavia. San Juan, Argentina.

³Departamento de Física y Química. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. UNSJ.

E-mail: cescudero@unsj-edu.ar

Resumen

Se presentan resultados de una investigación sobre concepciones y competencias específicas en estudiantes universitarios acerca de la naturaleza de la sensación sonora y su conceptualización. Se parte de un cuadro teórico ya elaborado que posibilita el ensamble y entramado de contribuciones teóricas concernientes a psicología cognitiva y del desarrollo, resolución de problemas, representación lingüística y simbólica de los conceptos y su relación con la didáctica. Las respuestas principalmente a trabajos escritos en el dominio de las ondas mecánicas en relación con la percepción acústica es lo que ha permitido ilustrar errores de razonamiento y de conceptualización ligados a intuiciones y/o confusiones. Es una investigación de tipo interpretativa, donde los datos se agrupan en categorías que no son provistas a priori. Sin embargo, parten de observaciones y abducciones que dieron en su momento origen a otros estudios publicados. Ellas han permitido analizar las concepciones implícitas de los estudiantes, más precisamente los aspectos ignorados por ellos, u objeto de imprecisiones, donde el nivel de desarrollo en los estudiantes del pensamiento variacional ha jugado un rol trascendental. Las conclusiones muestran la potencialidad del marco teórico tanto para interpretar procesos de construcción de significados como para el diseño y mejoramiento de propuestas tendientes a un aprendizaje significativo crítico.

Palabras clave: Invariantes operatorios, Razonamientos, Variación, Ondas acústicas, Campos conceptuales.

Abstract

Results of researches over conceptions and specific competencies of in postsecondary students as regards sound loudness and their conceptualization are put forward in this paper. The starting point is a theoretical scheme previously done that allows the linking and interconnection of theoretical contributions related with the cognitive psychology, the developmental psychology, problems solving, the linguistic and symbolical representation of concepts and their relation with the didactics. The corpus is made up mainly by answers to written works which have allowed analyzing implicit conceptions of students, especially those ignored or misunderstood by them. This is an interpretive research, in which data are grouped in categories that are not provided before the theoretical framework. However, leave comments and abductions already made at the time that gave rise to other published studies. They have allowed us to analyze the implicit conceptions of students, more precisely aspects ignored by them, inaccuracies or object, where the level of development in student's variational thinking has played a major role. Conclusions show the potentiality of the theoretical framework to interpret processes of meaning building of the level of sonority, and for the design and improvement of instructional proposals tending to achieve a critical meaningful learning.

Keywords: Operative invariants, Reasoning, Variation, Acoustic waves, Conceptual fields.

¹ Una versión preliminar sobre la temática fue presentado en XVI CONGRESO ARGENTINO DE BIOINGENIERÍA (SABI2007). San Juan (Argentina).

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación está relacionada con el aprendizaje de la naturaleza de la sensación sonora y sus propiedades. La propagación de los fenómenos físicos se realiza a través de ondas las que también acompañan información, ya sea referida a su emisor o al medio por el que han viajado, por lo que se constituyen en el vehículo principal para la comunicación entre los seres vivos. Sería difícil pensar en un organismo capaz de sobrevivir sin utilizar recursos como la luz y/o el sonido cuando sus competidores (presas o predadores) lo hacen eficientemente, habiendo desarrollado órganos especializados para captar y procesar dicha información.

Si bien muchos investigadores en el área de Educación en Ciencias que han avanzado en el tratamiento de la teoría ondulatoria (también en otras temáticas), han reportado que el que aprende luego de la educación de nivel secundario tiene cierta facilidad con algunos algoritmos relacionados con el campo conceptual implicado, se manifiestan carencias, conocimientos fragmentados y/o confusos con respecto a aspectos conceptuales y metodológicos en diversidad de contenidos.

Por esta razón, la presente investigación parte de la hipótesis básica de que el grado de desarrollo de ideas variacionales en los estudiantes podrían propiciar una mejor comprensión y apropiación de numerosos conceptos físicos que tienen su base en el concepto de derivada en un sentido amplio, entre ellos el nivel de sonoridad. La hipótesis está a su vez fundamentada, en varios estudios históricos y epistemológicos en los que se sostiene una valoración renovada de las contribuciones interdisciplinarias de la ciencia actual principalmente desde el paralelismo matemática/física (Escudero 2012). El más vital y más famoso de todos, el descubrimiento del análisis infinitesimal, cuyo mérito se disputaron Leibnitz y Newton.

La teoría de las ecuaciones diferenciales y de derivadas parciales, el cálculo de variaciones e inclusive muchas ramas del álgebra y de la geometría no habrían progresado tan rápidamente si Newton, Euler, d'Alambert, Laplace, Lagrange, etc. no hubieran sentido constantemente la necesidad de desarrollarlas para poder dar una interpretación analítica a los hechos cada vez más numerosos con que la observación y la experiencia enriquecían día a día el tesoro de la ciencia humana.

En otros trabajos acerca de temáticas variadas como movimiento físico (Escudero 2005), radiación de cuerpo negro (González y Escudero 2012), efecto fotoeléctrico (Escudero y Jaime 2013), deformación de los cuerpos (Escudero, Jaime y González 2013), se advertía la clara presencia de conceptos de naturaleza físico-matemática. Aquí se avanza en profundidad proponiendo dicha hipótesis de trabajo a través de la presentación de algunos resultados en relación con el nivel de intensidad sonora y explorando en la mente de los estudiantes sus vínculos con otras nociones físicas tales como, propagación, energía, potencia sonora, presión sonora, funcionamiento del oído humano.

Nos hemos dedicado a desarrollar varios proyectos de investigación con un decisivo trabajo de campo dirigido a observar muy de cerca, el trabajo académico de alumnos y profesores. Después de largos meses de trabajo, los esfuerzos realizados parece que comenzaron a dar sus frutos. Los resultados nos están reportando que en el desarrollo del Discurso Físico Escolar, se está apostando por la fisicalización pura de los conceptos –incluso su exclusiva matematización–, no a la apropiación conceptual y experimental, sí a lo algorítmico, no a la divulgación de la física aplicada y finalmente, sí a una física abstracta, no a una física de significados.

Este trabajo forma parte de un programa de mayor envergadura, cuyo propósito está orientado a la búsqueda de indicios que revelen la presencia de invariantes operatorios durante el proceso de resolución de problemas de Física y su relación con representaciones mentales. En este reporte se informa sobre el estudio de la variación y sus significados, a través del cual se está buscando entender y explicar la forma en el que la representación de la variación interviene en la construcción de variados conceptos físicos.

A medida que avanza la investigación en resolución de problemas, empiezan a componerse los vínculos con el aprendizaje de conceptos y las relaciones implícitas con la significación en su sentido más amplio. En el análisis pormenorizado de una situación problemática puede llegar a inferirse la presencia de algunos conocimientos implícitos, tradicionalmente difíciles de detectar, cuya calidad y organización influyen notablemente en los procedimientos que desarrollan las personas al intentar resolverlas.

Una revisión crítica de los procesos y resultados en la investigación en resolución de problemas y la configuración de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud tanto como marco teórico alternativo para la investigación en resolución de problemas en Ciencias (Escudero y Moreira 2004, Escudero 2005) como referente plausible de integrar los esquemas de acción de Vergnaud (Moreira 2002), permitiendo arrojar luz.

En investigaciones previas sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ondas en general algunos autores han reportado una serie de dificultades con la propagación de las ondas y sus vínculos con las propiedades del medio (Maurines 1992, Escudero 1997), con la física de las ondas sonoras (Linder y Erickson 1989, Linder 1993) y con la descripción matemática de las ondas y su superposición (Grayson

1996, Wittmann 1998), mientras que otros autores (Welti 1998, 2002) con la energía de las ondas y con representaciones acerca del mecanismo de propagación de una onda y el rol del medio de propagación (Bravo y Pesa 2004, 2005).

El modelo ondulatorio reviste sin duda gran importancia en la explicación científica actual de muchos fenómenos físicos y su conocimiento resulta necesario para interpretar no sólo los fundamentos de diversas aplicaciones tecnológicas sino también en los seres vivos.

II. MARCO TEÓRICO

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos (Vergnaud 1990), una teoría cognitivista del proceso de conceptualización de lo real. Se trata de una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias (Vergnaud 1994). Además es una teoría de la complejidad cognitiva, que contempla el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden eficazmente representar esos conceptos y operaciones para el individuo, dependiendo de su nivel cognitivo.

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud hace un aporte que multiplica las posibilidades de conocer la génesis y la comprensión de los conceptos.

Uno de los aspectos a destacar de esta teoría es el lugar que le otorga a los contenidos, incluso al encontrarse enraizada en la matemática, le confiere un alto grado de pertinencia para las ciencias y las tecnologías.

Por otro lado, para Vergnaud “*problema* es todo lo que, de una forma u otra, implica por parte del sujeto la *construcción de una respuesta o de una acción que produce un efecto determinado*” (1983:92). El criterio decisivo –para este especialista– es la actividad y la acción en situación, o lo que denomina ‘la solución de problemas’ con un significado mucho más amplio que el que tiene esta expresión para físicos y matemáticos.

Para Vergnaud la noción de problema *comporta*, pues *la idea de novedad*, de algo nunca hecho, de algo aún no comprendido (de un desafío). Eso no significa, no obstante, que el sistema cognitivo con que el sujeto aborde el nuevo problema sea también nuevo, sino que por el contrario suele tratarse de un sistema antiguo, sólidamente apropiado (1983).

Esta concepción de problema permitiría incluir, por un lado, una enseñanza de la Física para todos, y por otro, una Física que busque más la significación (Escudero 2005).

A nuestro entender y siguiendo a Vergnaud considerar la resolución de problemas y la formación de conceptos desvinculada es desacertada, subestima dos aspectos: la parte de representación simbólica y de conceptos presente en la resolución de problemas, por un lado; y la parte de resolución de problemas que comparece en la formación de conceptos, por otra. Ambos elementos forman la misma cosa: la conceptualización.

Entre los individuos lo que se desarrolla son formas de organización de la actividad. El problema de la enseñanza suele ser en gran parte el de llevar al aprendiz a desarrollar sus competencias.

En síntesis, los conceptos claves de la teoría de los campos conceptuales son, además del propio concepto de *campo conceptual*, los conceptos de *esquema*, *situación*, *invariante operatoria* (teorema-en-acción y concepto-en-acción), y su concepción de *concepto*.

Un campo conceptual se define como un conjunto de situaciones cuyo dominio requiere, a su vez, el manejo eficaz de varios conceptos de naturaleza distinta (Trad. Vergnaud 1988: 141).

Una aproximación psicológica y didáctica de la formación de conceptos matemáticos conduce a considerar un concepto como un conjunto de invariantes utilizables en la acción (Trad. Vergnaud 1990:145).

Un concepto es un triplete de tres conjuntos (Vergnaud 1983; 1990; Franchi 1999): $C = (S, I, L)$ donde:

S: conjunto de situaciones que le dan sentido al concepto (el referente);

I: conjunto de invariantes operatorios asociados al concepto (el significado);

L: conjunto de representaciones lingüísticas y no lingüísticas que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones a las que él se aplica y los procedimientos que de él se nutren (el significante).

Son las invariantes operatorias las que vinculan teoría y práctica, es decir, las que hacen la articulación esencial, ya que la percepción, la búsqueda y la selección de la información se basarían completamente en el sistema de *conceptos-en-acción* disponibles en el sujeto (objetos, atributos, relaciones, condiciones, circunstancias) y de *teoremas-en-acción* subyacentes a su actuación.

Un teorema-en-acción es una proposición considerada como verdadera sobre lo real; mientras un concepto-en-acción es una categoría de pensamiento considerada como pertinente (Vergnaud 1996c:202; Vergnaud 1998:167).

La invariante operatoria implica la construcción de objetos estables de pensamiento que permiten engendrar las reglas de acción del sujeto (Ricco 1994).

Las representaciones implícitas y simbólicas son muy útiles en situaciones o contextos que requieren respuestas o acciones automatizadas. Las representaciones explícitas permiten abordar tareas más complejas.

Nuestro objetivo es estudiar en detalle las decisiones que toman los alumnos en diferentes situaciones problemáticas y, consecuentemente, la búsqueda de conceptos-en-acción y teoremas-en-acción sobre los que sería importante intervenir para poder ayudar a mejorar los procesos de aprendizaje en relación al modelo científico consensuado. Se intenta encontrar regularidades en el uso convencional y funcional que hacen los alumnos de la noción de sensación sonora, en el campo conceptual de la Mecánica Ondulatoria Clásica, en la temática Acústica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta es una investigación de tipo interpretativa donde los agrupamientos se definen durante las sucesivas miradas al corpus (Glaser y Strauss 1999). Esto supone un trabajo de inmersión en él que permite conocer por comparación constante una cualidad que lo describan lo más fielmente posible.

La búsqueda de significación en el aula de ciencias para la resolución de situaciones problemáticas se realiza mediante el análisis de protocolos verbales (Escudero y Stipcich 2008, Escudero 2005) producidos durante la ejecución de las tareas con el fin de identificar indicadores de comprensión, inferencias y diferentes niveles de representación.

Analizar protocolos verbales derivados de la práctica educativa es una tarea que requiere mucho más que reunir lo que se ha dicho en un conjunto de elementos codificables. Es, fundamentalmente, la construcción de procesos inferenciales que permitan completar lo que se ha hecho explícito con aquello que parecería estar rondando en el ámbito que acontece tanto el discurso como la acción. Y todo esto, claro está, a la luz de unos determinados referentes teóricos con los que se están mirando esos protocolos. La tarea del analista es la de re-significar eso que ha sido enunciado. (Escudero y Stipcich 2008)

El objetivo de la investigación en un campo conceptual dado es identificar y analizar el tipo de organización que presentan tales acciones y los esquemas subyacentes. Por tanto, implican el análisis, en términos relacionales y jerárquicos, de las diferentes clases de situaciones problemáticas que pueden ser propuestos a los alumnos. En relación a las representaciones, una tarea esencial, teórica y empírica, de los investigadores ha sido entender por qué una cierta representación simbólica particular puede ser útil, y bajo qué condiciones, y cuándo y por qué puede ser provechosamente sustituida por otra más abstracta y general.

En el diseño de la presente investigación podemos distinguir dos momentos, que denominamos fase exploratoria y fase principal.

En el estudio exploratorio se analizan las resoluciones escritas de cuatro estudiantes entre 18 y 20 años con la intención de efectuar una primera aproximación al campo conceptual específico. La tarea:

La intensidad de sonido para una onda sonora aumentó 1000 veces. (a) ¿En cuánto aumentó el nivel de intensidad sonora? b) ¿Cuántas veces aumentó la presión sonora? Hallar la intensidad de una onda sonora si: i) $\beta = 10\text{dB}$ y ii) $\beta = 3\text{dB}$.

Algunas dificultades detectadas son: marcado apego a la autoridad de la fórmula, indiferenciación incremento-razón, confusión potencia-presión sonora, asignación de atributos de magnitud al número, disociación de aspectos matemáticos y físicos en el modelado.

Posteriormente, una primera base de datos construida con estas respuestas, nos permitió advertir algunas regularidades que empleamos para proponer posibles líneas de acción.

En esta segunda fase se analizan las resoluciones escritas en 25 estudiantes también de la misma región etaria (en ocasión de la primera evaluación parcial) a la siguiente situación problemática en sus dos modalidades:

Un medidor de nivel de sonoridad colocado frente a una bocina de un sistema de audio de 60W [120W] indica 70dB [73dB]. En igualdad de condiciones, al colocarlo frente a un sistema de 120W [60W], el

medidor indicará (a) 120dB [60dB], (b) 140dB [123dB], (c) 63dB, (d) 73dB [70dB], (e) nada de lo anterior. Justificar.

En la medida en que vamos profundizando en este análisis vamos encontrando conceptos, teoremas y reglas de acción que siguen los alumnos al resolver.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un estudiante para resolver esta segunda situación propuesta necesita captar que el sonido se propaga en cualquier medio que responda en forma elástica, y con ello transmite energía vibratoria. La energía de una onda mecánica se distribuye en su frente de onda. Esto sugiere una duda práctica: cuando un detector interseca una parte de un frente de onda, registra una cantidad de energía que depende de su propia área de recepción y del tiempo durante el cual puede recibir. Ambas cosas dependen del detector en particular, pero se necesita poder llevar a cabo las mismas mediciones, independientemente de los detectores. Por lo mismo, no es la energía total que llega a un determinado instrumento lo que debemos medir, sino la energía por unidad de tiempo y por unidad de área, que es la densidad de potencia o intensidad (I).

Además sensación auditiva de intensidad, volumen o sonoridad depende del espectro de frecuencias, de la duración y, lo más importante de la intensidad del sonido.

La valoración de estos aspectos ha permitido diferenciar, en una primera instancia dos grandes grupos de dificultad, los cuales se concibieron en base principalmente a limitaciones al modelo físico-matemático que los estudiantes advirtieron y a su interpretación desde el referencial teórico asumido.

Los teoremas que ponen en acción grupos heterogéneos de alumnos cuando resuelven situaciones problemáticas en este campo conceptual, pueden ser:

A. En el caso de considerar la respuesta auditiva como lineal:

Categoría 1

Los estudiantes agrupados en esta categoría consideran proporcional la relación entre potencia y nivel de sonoridad " β ", realizando una regla de tres (o una razón). Interpretan el oído humano como un receptor lineal en el rango de las frecuencias audibles. En términos de invariantes operatorias el esquema-en-acción identificado puede contener:

Conceptos-en-acción: potencia, decibel, proporción, regla de tres, razón.

Teorema-en-acción: "Cuando la potencia se duplica (o se reduce a la mitad), se duplican (ídem) los decibeles".

Notar que tanto en los conceptos como en los teoremas que describirían el pensamiento de los estudiantes incluyen elementos tanto utilizados en Física como en Matemática como otros más relacionados con el mundo sensible y social.

B. En el caso de ser conscientes de la no linealidad de la respuesta auditiva del ser humano:

Categoría 2

La relación entre nivel de sonoridad " β " e intensidad para este grupo de alumnos parece ser no lineal. Aunque escriben la expresión matemática parcial (o totalmente), no operan con ella, sólo la reconocen. Por otro lado, es muy frecuente que no escriban las unidades durante el proceso de cálculo, pero sí que continúen operando con los números. Otorgando de esta manera una importancia fundamental al valor numérico aunque no se sepa qué es lo que se obtiene, como señalamos en otro trabajo (González y Escudero 2009).

Interpretan el oído humano como un receptor no lineal aunque desvinculado de la función logarítmica. El esquema puede explicitarse:

Conceptos-en-acción: potencia, número, razón, función logarítmica.

Teorema-en-acción: "Cuando la potencia se duplica (o se reduce a la mitad), el medidor no indicará el doble".

Categoría 3

Si bien cuentan con un adecuado modelo físico de la situación, están muy aferrados a reglas fijas y convencionales. No logran utilizar la variación como comparación todavía, apegándose al valor del patrón base de intensidad y de la sección. Despliegan una operatoria matemática rigurosa. El modelo físico del receptor responde a una escala logarítmica en relación a la razón de intensidades (o de potencias). Al parecer necesitan realizar el cálculo del área para lograr establecer los vínculos entre intensidad y

potencia. Parecen poseer una representación mental secuencial, en estrecha relación con la intuición y con el paso a paso:

Conceptos-en-acción: intensidad, potencia, umbral de audición, equivalencia, razón, magnitud, dependencia (e independencia) de la información incipiente, variación.

Teoremas-en-acción: “**Cuando hay una diversidad de variables, trabajo con todas**”. En símbolos:
 $\frac{I_2}{AI_0} \cdot \frac{AI_0}{I_1} \equiv \frac{P_2}{P_1}$
 “**(para esta situación)**”.

Un ejemplo de esta categoría es la siguiente resolución:

Alumno N°13

$$I = P/A$$

$$73dB = 10 \log \frac{I_1}{10^{-12} W / m^2} \quad I_2 = \frac{60W}{6 \cdot 10^{+6} m^2} = 1 \cdot 10^{-5} W/m^2$$

$$7,3dB = \log \frac{I_1}{10^{-12} W / m^2} \quad Ns = 10 \log \frac{1 \cdot 10^{-5} W / m^2}{10^{-12} W / m^2}$$

$$10^{7,3} = \frac{I_1}{10^{-12} W / m^2} \quad Ns = 10 \log 10^7$$

$$I_1 = 1,99 \cdot 10^{-5} W/m^2 \approx 2 \cdot 10^{-5} W/m^2 \quad Ns = 7 \cdot 10 \log 10$$

$$A = \frac{120W}{2 \cdot 10^{-5} W / m^2} = 6 \cdot 10^6 m^2 \quad \boxed{Ns = 70 dB}$$

Categoría 4

Aparentemente similar a la categoría anterior pero con una importante diferencia en la incorporación de la relación que existe entre la razón de intensidades y la razón de potencias sin la necesidad (explícita) de calcular el área para vincularla. La siguiente resolución ilustra lo dicho:

Alumno N°20

$$60W \quad 70db \quad 70db = 10 \log (I/I_0)$$

$$60W \text{ db ?} \quad 10^7 = I/I_0$$

$$I = P/A \quad I_{70db} = 1 \times 10^{-5} W/m^2$$

$$A = \frac{P_{60}}{I_{60}} = \frac{P_{120}}{I_{120}} \quad db_{120W} = 10 \log \frac{2 \times 10^{-5} W / m^2}{1 \times 10^{-12} W / m^2} = 73db$$

$$I_{120} = P_{120} / A_{60} \quad \text{Al doble de potencia se obtiene } \approx 1\% \text{ mas de decibels, debido a que las intensidades están aplicadas con logaritmos}$$

$$I_{120W} = 2 \times 10^{-5} W/m^2$$

Conceptos-en-acción: intensidad, potencia, umbral de audición, equivalencia, razón, magnitud, dependencia (e independencia) de la información parcial, variación.

Teoremas-en-acción: “**Cuando hay una diversidad de variables, entonces se independizan de algunas hasta que sea funcional el cálculo**”. En símbolos:

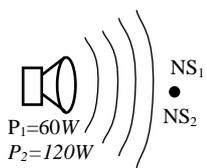
$$\frac{I_2}{AI_0} \cdot \frac{AI_0}{I_1} \equiv \frac{P_2}{P_1} \quad \text{logro independizarme del área} \Rightarrow \frac{I_2}{I_0} \cdot \frac{I_0}{I_1} \equiv \frac{P_2}{P_1} \text{ ,}$$

Categoría 5

Ya comienzan a incorporar otras relaciones más y hacen la transferencia desde otras áreas. Interpretan la intensidad como una variación en la sonoridad con el significado del logaritmo. En términos operativos, suman el incremento (no multiplica, ni divide). Es decir, modelan físicamente y ejecutan una potente representación mental. Entienden la razón en intensidad (o potencia) como un incremento en nivel de sonoridad.

Aquí además de lograr independizarse de la magnitud área, captan la influencia de la variación al independizarse del patrón base de intensidades establecido por convención $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ cuyo valor probablemente ni lo recuerde. La siguiente solución es altamente representativa de esta modalidad:

Alumno N°24



$I_1 = P_1/A$

$I_2 = P_2/A$

$\Delta NS = 10 \log (I_2 / I_1) = 10 \log \frac{P_2 \cdot A}{A \cdot P_1} = 10 \log (P_2 / P_1) =$

$10 \log (120W/60W) \approx 3dB$

$\Delta NS \approx 3dB$

Al colocar una fuente con una potencia de 120W el medidor de sonoridad

indicará $73dB$ ($70dB + 3dB$)

Conceptos-en-acción: intensidad, potencia, umbral de audición, equivalencia, razón, magnitud, (in)dependencia de la información, variación.

Teoremas-en-acción: “*Cuando hay una diversidad de variables, entonces se desvinculan de la mayor cantidad posible de variables para que sea funcional el cálculo*”. En símbolos, “ $\frac{I_2}{AI_0} \cdot \frac{AI_0}{I_1} \equiv \frac{P_2}{P_1}$

$\Rightarrow I_2/I_1 \equiv P_2/P_1$ ”. “*Al independizarse de las variables, se puede encontrar la variación y no necesariamente el valor absoluto de la magnitud*”.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis del análisis descrito a modo de idea general de distribución de respuestas.

Tabla 1: Frecuencias de categorías construidas para interpretar esquemas de acción.

Categoría 1	32%
Categoría 2	8%
Categoría 3	28%
Categoría 4	24%
Categoría 5	8%
TOTAL	100%
Muestra	25

V. ALGUNAS HIPÓTESIS PARCIALES

Uno de los problemas del aprendizaje es lograr la generalización del conocimiento. Es necesario dar al joven *la oportunidad de construir el conocimiento –incluida la racionalidad–*; es decir, la ocasión de conectar con esquemas específicos.

No obstante, el proceso por el cual se expande el saber preexistente no es el de la mera generalización, sino, por extrapolaciones y juicios comparativos.

“La realidad es siempre infinitamente compleja, y no se puede pasar directamente desde la percepción común y del comportamiento práctico espontáneo, a la descripción científica y a la ‘visión teórica’. Pero el trabajo científico comienza confrontando la experiencia espontánea con ciertas otras realidades, cuya relación de analogía hace posible obtener una primera visualización de la estructura posible, la cual hubiera sido, de no mediar ese modelo, invisible.” (Samaja 1999)

En la vida seleccionamos una pequeña parte de la información y son esos conceptos-en-acción los que permiten seleccionar el conocimiento pertinente. Debemos trabajar en enriquecer esos conceptos. Simplemente, si un razonamiento no se asocia a un teorema-en-acción ese razonamiento no permite la resolución.

Aunque las situaciones consideradas han sido necesariamente limitadas, podemos ver que las dificultades a superar son variadas. Hemos podido puntualizar algunos tipos.

Un nodo conceptual de naturaleza físico-matemática que se ha mostrado esencial a lo largo del estudio (y de otros trabajos también) ha sido el de variación y sus relaciones (valor absoluto, valor

relativo, variación continua o discreta, función variación, medida y posición, cambios relativos, diferencial, incrementos finitos e infinitésimos, razón de cambio, derivada, entre otros).

Recordemos nuestra hipótesis básica: Las dificultades en la apropiación de variados conceptos físicos se relacionan con el nivel de desarrollo de ideas variacionales en los estudiantes.

Específicamente, hemos entendido por una situación variacional al conjunto de problemas que requieren de un tratamiento variacional tanto desde el punto de vista de las funciones cognitivas de quienes las aborden como desde la perspectiva física, matemática y epistemológica correspondiente. Podríamos además, agregar el término re-significación porque el concepto de variación y otros términos relacionados cuando representan nociones físicas adquieren significaciones que evolucionan conforme se va dando el progreso del que aprende en su ambiente de estudio.

El cálculo fue inventado como una herramienta físico-matemática para estudiar los fenómenos del cambio y la variabilidad en el mundo real. En contraste, en las instituciones educativas se asegura que su enseñanza confiere un papel secundario a la variación y privilegia principalmente la utilización de la praxis algorítmica. Así, en la enseñanza de conceptos físicos que implican nociones variacionales existe un problema que parece ser generalizado, es más, existen muy pocos trabajos que describen qué es lo que realmente sucede en la práctica educativa.

Es aquí donde adquiere sentido el triplete propuesto por Vergnaud: S es la secuencia de situaciones que se generan para intentar explicar la sensación sonora y sus propiedades (*el referente*), I son las propiedades intrínsecas de una variación, una diferencia entre un estado final y otro inicial, una comparación (*el significado*) y L, las representaciones algebraica y gráfica –incluso experimental– que pueden desarrollarse.

VI. CONCLUSIONES O CONSIDERACIONES FINALES

La resolución de situaciones problemáticas nuevas y parcialmente nuevas requiere de significados. Aprender es adquirir información utilizable a modo de instrumental conceptual que facilite dicha resolución de problemas. En este estudio el concepto de teorema-en-acción ha sido fundamental para comprender cómo la resolución de problemas tiene sus bases en una representación conceptual o cuasi-conceptual de la realidad y cómo habilita el análisis de los procedimientos, sobre todo, en términos físicos y físico-matemáticos.

Un aspecto sustancial desde la riqueza conceptual del análisis y de los razonamientos de los estudiantes ha sido la identificación y significación de la dependencia e independencia de la información. Tres de las modalidades advertidas en el corpus admiten prácticamente los mismos conceptos-en-acción y, sin embargo, muy diferentes teoremas-en-acción. Todas ellas pueden considerarse respuestas “correctas”; con todo, de muy distinto tenor.

C3- captan incipientemente la variación sin utilizarla aún como comparación.

C4- lograron independizarse parcialmente de valores referenciales, pero cuando la variación resulta ser una variación particular los conceptos puestos en juego, obliga a los estudiantes a seguir estructuras regladas sin apartarse demasiado de ellas.

C5- son capaces de generar su valor de referencia independizándose de valores convencionales para determinar variaciones y/o razones de variación posibilitándoles el acceso a una comprensión en profundidad acerca de la naturaleza de la sensación sonora.

Lo que parece haberse impulsado en los estudiantes son formas de organización de la actividad, más eficientes, lo que redundaría en la adquisición de concepciones y competencias específicas. Una competencia general que se busca desarrollar es la resolución de problemas y creemos que una **competencia crítica** (concepto acuñado por Vergnaud, 2007) en este sentido, es la lograda por estos estudiantes.

Resulta recurrente advertir que los alumnos que plantean una resolución correcta y completa no solo han construido los conceptos del campo conceptual, sino que también han podido consolidar y extender sus esquemas específicos. En tanto hay un grupo de 15 alumnos que podría estimarse que se encuentran en una etapa de transición, en la que es necesario trabajar en forma sistemática e intencionadamente, con estrategias específicas de las dificultades detectadas. Una mirada profunda posibilita reconocer algunos focos de dificultades y aún más, algunas direcciones en las que transitar.

Sabemos que el aprendizaje que se construye en un contexto no se “traslada” automáticamente a otro, pero sí constituye un sustento para poder construirlo en otro contexto de mayor complejidad (García, 2000).

Aún en su carácter singular, los resultados obtenidos muestran que existe la posibilidad de incorporar cambios cualitativos en el aula que, a mediano o largo plazo, pueden influir de manera estructural y/o estructurante en el aprendizaje de los alumnos.

La puerta a una enseñanza que contemple los esquemas-en-acción presentes en el aula conlleva todos los riesgos de un compromiso profesional, mayor esfuerzo en la selección de tareas, búsqueda de recursos y materiales para poder concretar las propuestas y el escaso tiempo disponible. Pero una enseñanza sin compromiso recibe como contrapartida un aprendizaje hueco, carente de estructuras que permitan seguir creciendo. Desde nuestro programa quisiéramos hacer algún aporte innovador en ese sentido.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan a través de CICITCA y a la Agencia Nacional ANPCYT por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante los subsidios correspondientes a los proyectos de investigación 21/I529 y PICTO UNSJ 2009 N° 109 subsidiado por FONCyT, respectivamente.

REFERENCIAS

Bravo, S. y Pesa, M. (2004) Ola en el estadio: ¿movimiento ondulatorio? Una interpretación del razonamiento de los estudiantes. *VII Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física*. La Pampa (Argentina).

Bravo, S. y Pesa, M. (2005) La construcción de representaciones sobre movimiento ondulatorio. Una interpretación a partir de la integración de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud y los modelos mentales de Johnson- Laird. *Revista de la enseñanza de la Física*, 18 (2), pp. 25-42.

Escudero, C. (1997) Vibraciones y ondas en polimodal: algunas consideraciones y limitaciones de los CBC y CBO. *VII Reunión de Educación en la Física (REF 7)*. Mar del Plata (Bs. As.)

Escudero, C. y Moreira, M. A. (2004) La investigación en resolución de problemas: una visión contemporánea. Programa Internacional de Doutorado em ensino de Ciências (PIDEC). Texto de Apoio N° 23 da Universidade de BURGOS/UFRGS. Publicado en *Actas del PIDEDEC*, vol. 6, pp.41-90. Publicación en modalidad libro.

Escudero, C. (2005) Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. Tesis doctoral. Universidad de Burgos-UFRGS.

Escudero, C. y Stipcich, S. (2008) *Análisis de protocolos verbales*. En: Texto de Apoio para PIDEDEC. Texto N° 33, Instituto de Física. UFRGS, Porto Alegre, Brasil; vol. 10, 81-122.

Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En Alcântara Machado, S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução* (pp. 155-195).

García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. España. Gedisa.

Glaser, B. y Strauss, A. L. (1999). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Chicago: Aldine Pub. Co. (Primera edición, 1967, Chicago: Aldine).

González, S. y Escudero; C. (2009) Las unidades en problemas de Física para escuela secundaria. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, 26 (3), 460-477.

Grayson, D. J. (1996) Using education research to develop waves courseware. *Computational Physics*, 10 (1), pp. 30-37.

Greca I., Moreira M. (2002), Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre.

Linder, C. J. y Erickson, G. (1989) A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, 11 (5), pp. 491-501.

- Linder, C. (1993) University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, 15(6), pp. 655-662.
- Maurines, L. (1992) "Los estudiantes y la propagación de las señales mecánicas: dificultades de una situación de varias variables y procedimientos de simplificación". *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1); pp.49-57.
- Moreira, M. A. (2002) A teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências*. Brasil, Vol. 7 (1). Site: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- Vergnaud, G. (1983) Actividad y conocimiento operatorio. En Coll, C. *Psicología genética y aprendizajes escolares* (pp. 91-104). (Madrid, Siglo XXI).
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud G. (1994) Multiplicative Conceptual Field: What and why, Ghershon and Jere Edit. State University of New York Press.
- Vergnaud, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3): 112-118.
- Vergnaud, G. (1996b). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10): 195-207.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), pp 167-181.
- Vergnaud, G. (2007). ¿En qué sentido la Teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(2), pp 1-19.
- Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human Development*; 52: 83-94.
- Welti, R. (1998) Obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la energía de las ondas. *IV Simposio de Investigadores en Educación en Física (SIEF 4)*. La Plata (Argentina).
- Welti, R. (2002) Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las Ciencias*, 29 (2), pp.261-270.
- Wittmann, M. (2002) The object coordination class applied to wave pulses: analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24 (1).

ANEXO

La naturaleza del sonido

Notar que al resolver las situaciones descriptas no se pone en juego directamente el proceso físico involucrado –presión del aire en este caso– ni la magnitud de parámetros tales como frecuencia, velocidad de propagación y consecuentemente, longitud de onda. Pero si, la naturaleza del sonido.

Cuando un cuerpo vibra produce el desplazamiento de las moléculas de aire próximas a él, que a su vez chocan con las moléculas vecinas y éstas con las suyas. Esto provoca cambios en la densidad y presión del aire, que se propagan como una onda longitudinal que constituye una onda acústica.

El sonido propiamente dicho es la sensación fisiológica que producen las ondas acústicas. En una clasificación totalmente antropocéntrica, esta sensación se percibe cuando las ondas acústicas tienen frecuencias dentro de un cierto rango que se extiende entre 20 Hz y 20000 Hz aproximadamente.

El oído humano es capaz de responder a ondas acústicas con un amplísimo rango de valores de intensidad I (o presión p_0), que puede variar en 12 órdenes de magnitud, lo que da lugar a la adopción de un sistema de unidades de tipo logarítmico. Es decir, este "sensor" es capaz de detectar sonidos cuyas

frecuencias varían en un factor de 10^3 , desde 20 Hz a 20000 Hz, e intensidades con variaciones de 120 dB (es decir, un factor de 10^{12}).

Aunque la descripción intenta dar cuenta de las propiedades físicas subyacentes, el sonido corresponde a una percepción y por tanto depende de la “interpretación” que el sistema oído-cerebro hace de las ondas acústicas. Por ello se utiliza el concepto de sensación sonora, nivel de sonoridad o sonoridad β (o NS) para describir la sensación psicológica y fisiológica del nivel de intensidad sonora. Aunque hay una relación directa entre la intensidad del sonido y la percepción de sonoridad, esta relación no es lineal sino que el incremento de la sensación sonora $\Delta\beta$ es proporcional al incremento relativo de la intensidad, es decir considerando incrementos infinitesimales:

$$d\beta = \frac{dI}{I} \quad (1)$$

y por lo tanto

$$\beta = k \log (I/I_0) \quad (2)$$

donde k es una constante de proporcionalidad e I_0 una intensidad de referencia. Por convención se toma como intensidad de referencia $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ (umbral de audición) y se adopta $k = 10$, con lo que el nivel de sonoridad de una onda acústica de intensidad I se expresa en decibelios.

Mientras que si se duplica la intensidad de un sonido débil se producirá una sensación de cierto aumento en la sonoridad. Sin embargo, al duplicar la intensidad de un sonido ya fuerte, se producirá la sensación del mismo aumento de sonoridad.

En general para cambiar de I_1 a I_2 ,

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 10 \log (I_2/I_0) - 10 \log (I_1/I_0) \quad (3)$$

Y usando identidades logarítmicas

$$\Delta\beta = 10 \log (I_2/I_1) \quad (4)$$

Esto equivale a decir que el oído tiene una respuesta logarítmica.